УДК 531.7.08

ПОИСК И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В СЛОЖНЫХ ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

В.А. Васильев

Пензенский государственный университет
E-mail: paspen@rambler.ru

Рассмотрены вопросы поиска вариантов технических решений, соответствующих обозначенной проблеме. Описан алгоритм действий при решении проблем уникального выбора. На примере тензорезисторного датчика давления показано решение выявленной проблемы.

При системном анализе сложных систем, к которым можно отнести измерительные преобразователи, не всегда представляется возможным построение модели, позволяющей сделать однозначный выбор лучшего решения. То есть, возникает ситуация так называемого уникального выбора известного из теории системного анализа [1–5].

Для ситуации уникального выбора характерны три главных элемента: наличие проблемы (сложной задачи) и необходимости ее решения; наличие лица, принимающего решение; наличие альтернатив для выбора и принятия решения. Отсутствие одного из перечисленных элементов не приводит к целенаправленному выбору.

При проектировании измерительных преобразователей возникают сложные задачи, носящие многокритериальный характер [6]. Порой не удается свести оценку каждой из предложенных альтернатив к какому-либо одному численному показателю, например к точности. Необходимо учитывать каждую альтернативу по многим параметрам. При этом возникает нерешенность вопроса полноты и достаточности использованного количества параметров, а также сложность сопоставления различных показателей, например, точности и экономической эффективности [7]. Присутствие лица, принимающего решение в выборе того или иного альтернативного варианта, вносит субъективизм в оценку, который имеет место даже при органиченности выбора. Наличие самих альтернатив ставит под вопрос их полноту.

Очевидно, что процесс решения проблемы уникального выбора является весьма непростым и имеет свои особенности для каждой предметной области. Он требует максимально возможной степени структуризации проблемы, а также структуризации самого процесса принятия решения. Алгоритм действий при решении проблем уникального выбора представляет собой последовательные этапы, изображенные на рис. 1.

С возникновения (обнаружения) проблемы и до ее решения обычно требуется предпринять немало усилий. Проблема не всегда может быть сформулирована так, что на нее сразу возникает ответ о предпочтительных вариантах ее решения. На начальной стадии она только обозначается. Следует заметить, что правильная формулировка проблемы является половиной успеха.

Этапы 2 и 3 (рис. 1) во многом зависят от специфики проблемы. На этапе 2 должна быть четко сформулирована цель, исходя из проблемы. Для этого необходимо выяснить, в результате чего возникла некая цель, и что мешает достижению этой цели. Решение может быть не тривиально.



Рис. 1. *Алгоритм действий при решении проблем уникального выбора: 1) возникновение (обнаружение) проблемы; 2) определение цели; 3) определение альтернативных решений; 4) сравнение альтернатив; 5) выбор предпочтительной альтернативы*

Например, тензорезисторные датчики давления (первичные измерительные преобразователи) при воздействии нестационарных температур (термоудара) на воспринимающую полость мембраны дают ложный сигнал об изменении давления. Это серьезная проблема при использовании датчиков в ракетно-космической технике. Решать ее можно с помощью поиска и освоения производства других типов датчиков, поиска и применения других материалов конструкции чувствительного элемента датчика, применения защитных покрытий и экранов, введения системы охлаждения датчика, построения компенсационных электрических схем и др.

Явно цель не должна быть сформулирована как освоение производства других типов датчиков, а целью должно быть обеспечение независимости выходного сигнала тензорезисторного датчика при воздействии термоудара.

С целью полного исследования проблемы (сложной задачи) необходимо провести обзорный анализ системы более высокого уровня, в функционировании которой возникли проблемы. В анализируемом примере это рассмотрение должно обязательно включать связи первичного измерительного преобразователя (датчика) со вторичным измерительным преобразователем, потому что неизвестно, каким путём будет решена проблема стабилизации информативного сигнала. Возможно, это будет сделано во вторичном измерительном преобразователе. Могут быть задействованы различные связи между первичным и вторичным измерительными преобразователями.

Первичный и вторичный измерительный преобразователи в данном случае нужно рассматривать как систему другого уровня, для которой необходимо спрогнозировать ее развитие. Следует сформулировать совокупность целей и задач, и, возможно, проблема будет разрешима или отпадет сама собой.

На основе перечисленных исследований можно окончательно уточнить проблему с учетом ее дальнейшего развития. После чего представляется возможным указать цели, реализация которых будет способствовать решению проблемы. К числу таких целей для рассматриваемой проблемы можно отнести: исключение влияния градиента температуры (по радиусу мембраны) на относительное изменение сопротивлений тензорезисторов мостовой измерительной цепи.

Определение альтернативных решений (этап 3 на рис. 1) наиболее эффективно вести на основе методов системного проектирования. В основе этих методов лежит построение моделей объектов. Разрабатываемая модель объекта должна удовлетворять следующим требованиям: предусматривать описание максимально возможного количества объектов рассматриваемого типа; обеспечить получение требуемых количественных и качественных оценок; быть максимально простой и удобной для работы с ней. Могут быть предъявлены и дополнительные требования к модели.

На основе построенных моделей определяется лучшая структура и производится оптимизация внутренних характеристик проектируемого объекта. В работе [8] представлены различные модели твёрдотельных структур, используемых в первичных измерительных преобразователях, представлены функции информативного преобразования. С их использованием можно сделать выбор структуры и исследовать передаточные характеристики.

Варьируя структурой и анализируя устойчивость системы в условиях действия различных факторов, делается выбор и формируется функциональная схема проектируемой системы. Параллельно этому процессу ведется поиск лучших характеристик с точки зрения общих целей. При этом осуществляется коррекция требований к структуре и параметрам на соответствие требованию реализуемости.

В конечном итоге разработанные варианты (альтернативы) сравниваются, и из них выбирается лучший.

Сравнение альтернатив (этап 4 на рис. 1) предполагает поиск и выбор критерия для оценки различных параметров и характеристик. В качестве обобщенного показателя эффективности для измерительных преобразователей может служить показатель информационной эффективности [9]:

$$P_{\text{эфф.ф}} = 1 - \varepsilon_\alpha \varepsilon_L, \qquad (1)$$

где

$$\varepsilon_\alpha = \left(\frac{\alpha_\text{д} - \alpha(L_T)}{\alpha_\text{д}} \right) \qquad (2)$$

– относительное изменение параметра $\alpha(L_T)$ от предельно достижимого $\alpha_\text{д}$,

$$\varepsilon_L = \left(\frac{L - L_T}{L} \right) \qquad (3)$$

– относительное изменение текущей реализации фактора L_T ($L_T \leqslant L$) от выбранного значения фактора L в интервале от a до b (конечное значение). Здесь L может быть как регулярной, так и случайной величиной.

Вводя функцию, определяющую закон относительного изменения текущего фактора $f(\varepsilon_L)$, выражение (1) представляется в виде:

$$P_{\text{эфф.ф}} = 1 - \varepsilon_\alpha(1 - f(\varepsilon_L))\varepsilon_L \qquad (4)$$

При $L_T = a = 0$, из (4) следует, что $\varepsilon_L = 1, f(\varepsilon_{L=1}) = 1$; при $L_T = b = L$ ($b \neq 0$), следует, что $\varepsilon_L = 0, f(\varepsilon_{L=0}) = 0$.

Выражение (4) может служить критерием информационной эффективности в зависимости от относительного изменения фактора. К абсолютным значениям параметров и факторов можно перейти с помощью формул (2) и (3).

Иногда требуется дать не только техническую оценку различных вариантов того или иного прибора или системы, но и экономическую, а затем рекомендовать наилучший вариант.

Так, для сравнения точности и экономической эффективности регистрирующих приборов и систем, в работе [7] был предложен новый метод сравнения альтернатив: метод "точность – экономическая эффективность". Отличие его от известных методов заключается в использовании принципа равноточности измерений базовым и новым объектом, на основе которого различие в точности трансформируется в различие трудоемкости получения равноточных результатов. От трудоемкости делается переход к экономической эффективности, а критерием оценки являются приведенные затраты единицы базового и нового объекта. По сути, данный метод представляет собой некий синтез технических и экономических характеристик, полученных с помощью центральной предельной теоремы теории вероятностей.

Очевидно, что целью сравнения альтернатив является нахождение однозначной количественной оценки полезности каждой из рассматриваемых алтернатив, в итоге выбирается вариант с наивысшей соответствующей оценкой. Различают пять групп методов многокритериальной оценки альтернатив [4]:

- прямые;
- аксиоматические;
- порогов несравнимости;
- компенсации;
- человеко-машинные.

Прямые методы основываются на установлении общей полезности как прямой функции оценок по отдельным видам критериев. При этом возможно использование весовых коэффициентов для каждого критерия.

Аксиоматические методы предполагают использование неких правил количественной оценки полезности при наличии ряда требований к этим правилам. Эти требования называют аксиомами. Соответствие правил количественной оценки аксиомам позволяет математически корректно обосновать существующие функции полезности, а также ряд ее свойств.

Методы порогов несравнимости состоят в сравнении альтернатив по неким заданным правилам. При этом возможности попарно делятся на сравнимые и несравнимые, затем сужают круг рассматриваемых вариантов решения за счет выбора лучших из сравнимых альтернатив.

Методы компенсации заключаются в том, что оцениваются достоинства одной альтернативы и оценивают достоинства другой. Затем, эквивалентные достоинства исключают из рассмотрения. Тем самым снижается размерность рассматриваемой задачи. В ряде случаев метод компенсации позволяет определять функцию полезности альтернатив.

Человеко-машинные методы базируются на количественных моделях поведения управляемых объектов или процессов. Эти методы делятся на две группы. *Первая группа методов* основана на использовании моделей для построения системы оценки полезности альтернатив с использованием многокритериального программирования. При этом решается некая оптимизационная задача с ограничениями, касающимися критериев, а функции полезности максимизируются. В ходе решения задачи лицо, принимающее решение, может корректировать ограничения по критериям, изменять вид функции полезности, вводить различные зависимости одного критерия от другого. *Вторая группа методов* основана на использовании моделей поведения управляемых объектов для получения результата принимаемого решения.

Метод оценки с помощью показателя информационной эффективности и метод "точность – экономическая эффективность" относятся к первой и второй группам, соответственно.

Выбранный лучший вариант, отвечающий предъявленным критериям эффективности, является завершением этапа выбора предпочтительной альтернативы (этап 5 на рис. 1) и решением проблемы.

Отмеченная выше проблема тензорезисторных датчиков давления для ракетно-космической техники была решена указанным путем. Снижение влияния термоудара на выходной сигнал датчика в работе [10] достигнуто за счет особого размещения тензорезисторов на мембране и включения их в мостовую измерительную цепь. На рис. 2 показано расположение тензорезисторов на мембране. Тензорезисторы R2 и R3, расположенные в окружном направлении, установлены по окружности, радиус которой равен:

$$r = r_0 - \frac{1}{3} l_{тр},$$

где r_0 – расстояние от центра мембраны до середины радиальных тензорезисторов R1 и R4; $l_{тр}$ – длина радиального тензорезистора.

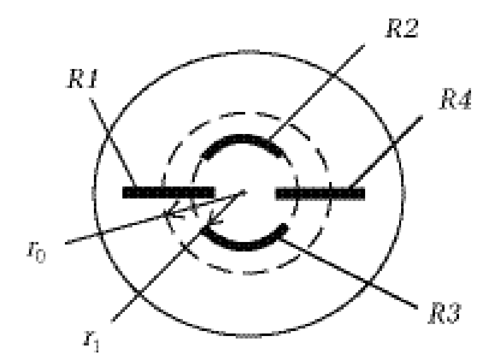


Рис. 2. *Расположение тензорезисторов на мембране*

Благодаря конструктивному решению именение сопротивлений тензорезисторов R2 и R3 (окружных) под действием термоудара равно изменению сопротивлений тензорезисторов R1 и R4 (радиальных). А так как тензорезисторы R1, R2, R3 и R4 образуют плечи моста, то сигнал на выходе измерительной цепи не изменяется при воздействии термоудара. Температурная погрешность становится практически равной нулю.

Аддитивная температурная чувствительность преобразователя давления в относительное изменение сопротивлений, характеризующая температурную погрешность, определяется выражением:

$$S_{0T} = \frac{(\alpha_1 + \alpha_4) - (\alpha_2 + \alpha_3)}{\sum_{i=1}^{4} \varepsilon_{Ri}}, \quad (5)$$

где α_1, α_2, α_3, α_4 – температурные коэффициенты сопротивления тензорезисторов R1, R2, R3, R4 (соответственно) с учётом температурного поля; $\sum_{i=1}^{4} \varepsilon_{Ri}$ – относительное изменение сопротивлений всех плеч мостовой цепи от номинального давления.

Для конструкции, представленной на рис. 2, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4$, поэтому из выражения (5) следует, что $S_{0T} = 0$.

Преимущества разработанной конструкции датчика давления в сравнении с прототипом, за который был взят серийно выпускаемый датчик давления ВТ-212, подтвердили экспериментальные исследования. Расположение тензорезисторов на мембране прототипа показано на рис. 3 (штрихов-

кой обозначены контактные площадки и перемычки). Тензорезисторы R1, R4 и R2, R3 воспринимают радиальные деформации противоположного знака, что является положительным моментом для повышения чувствительности. Однако данные пары тензорезисторов при наличии градиента температуры по радиусу мембраны (в момент термоудара) оказываются в зонах разных температур, что приводит к возникновению разбаланса моста и изменению начального выходного сигнала датчика, не связанного с изменением давления.

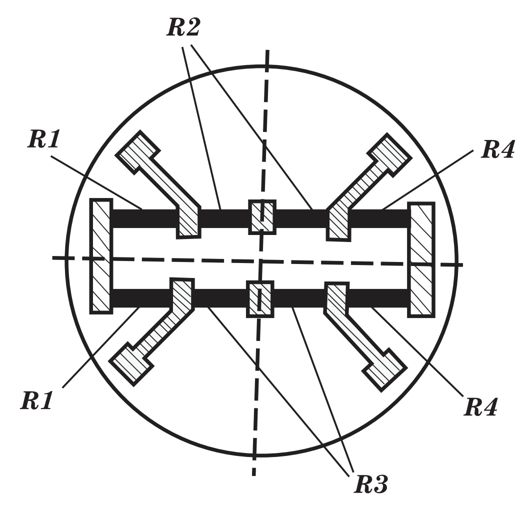


Рис. 3. *Расположение тезорезисторов на мембране (прототип)*

На рис. 4 представлены графики изменения начального выходного сигнала предлагаемого датчика давления в сравнении с прототипом при воздействии на приёмную полость жидкого азота (термоудар), из которых видно, что скачкообразное изменение начального выходного сигнала (а следовательно, и величина погрешности) в предлагаемой конструкции практически отсутствует, а температурная погрешность не превышает погрешности в стационарном температурном режиме.

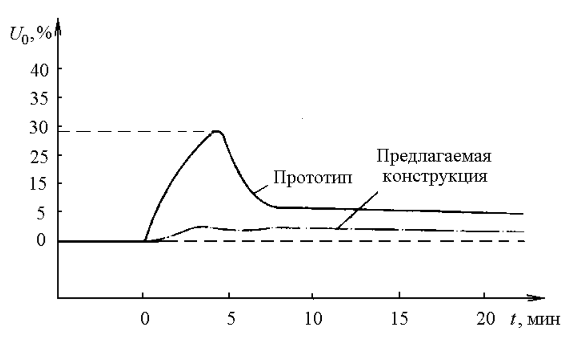


Рис. 4. *Изменение начального выходного сигнала датчика давления при термоударе в сравнении с прототипом*

Таким образом, в результате изложенного системного подхода оказывается возможным вести поиск альтернативных вариантов решения проблем (сложных задач) проектирования измерительных преобразователей и принимать научно-обоснованные решения по выбору лучших вариантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ларичев О.И. Наука и искусство принятия решений. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
2. Саати Т. Принятие решений, методы анализа иерархии. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений / Пер. с англ. под ред. В.Н. Воробьева. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
4. Хомяков Д.М., Хомяков П.М. Основы системного анализа / Предисловие М.Я. Лемешева. – М.: Изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 1996. – 108 с.
5. Лебедев О.Н. Организация научных исследований и разработок телекоммуникационных систем. Конспект лекций. – Киев: НТУУ "КПИ", кафедра средств телекоммуникаций, 1999. – 48 с.
6. Васильев В.А. Уменьшение влияния дестабилизирующих факторов на информативный сигнал датчиков // Датчики и системы. – 2002. – № 4. – С. 12–15.
7. Васильев В.А., Тихонов А.И. Точность и экономическая эффективность регистрирующих приборов (систем) // Автоматизация и современные технологии. – 2002. – № 10. – С. 38–40.
8. Васильев В.А. Информативное преобразование регистрирующих твёрдотельных структур // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2002. – № 9. – С. 40–43.
9. Васильев В.А. Информационный ресурс регистрирующих твёрдотельных структур // Измерительная техника. – 2002. – № 7. – С. 22–24.
10. А. с. 1337691 СССР. МКИ G01L 9/04. Датчик давления / А.И. Тихонов, В.А. Тихоненков, А.И. Жучков, В.А. Васильев // Б.И. № 48 от 15.09.1987 г.